

УДК 630.531

М.О. Гурьянов, О.И. Антонов

ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАЗМЕРНО-ВЕСОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕЖМУТОВОЧНЫХ ВЕТВЕЙ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ РОСТА

Введение. Интенсивное лесовыращивание подразумевает проведение регулярных рубок ухода, а также выполнение многоприемной обрезки ветвей для получения высококачественной бессучковой древесины. При этом производительность работ, связанная с ее формированием, во многом зависит от количественных параметров кроны: числа живых и сухих ветвей в мутовке и межмуточном пространстве, диаметров ветвей, количества мутовок и др. Таким образом, изучение архитектоники кроны является важным элементом лесоводственных и экологических исследований.

Аспектами биологической продуктивности ассимиляционного аппарата древесных пород, а также структурными параметрами кроны в связи с обрезкой ветвей, занимались многие отечественные и зарубежные ученые [Яблоков, 1934; Молчанов, 1952; Полякова, 1954; Карчаускас, 1958; Казимиров, 1977; Кузнецов и др., 1986; Вороницын, 1989; Усольцев, 1998, 2010; Феклистов и др., 2014, 2017; Rutter, 1957; Satoo et al., 1970; Fujimori, 1971; Ford, 1982; Kallio, 1984; Arvidson, 1985; Pollarschutz, 1994 и др.].

Количество работ по строению кроны ели значительно меньше, чем по сосне. Результаты исследований в чистых и смешанных насаждениях ели показали, что между степенью повреждения кроны и приростом имеется тесная связь, однако площадь питания, а также конкуренция соседних деревьев, могут оказывать гораздо большее влияние на прирост отдельных деревьев [Kramer, 1986]. Существует зависимость между приростом по объему на 1 м² поверхности кроны и степенью ее повреждения (потерей хвои). В шведском институте сельскохозяйственных наук была разработана динамическая модель линейного и весового роста ветвей для молодых насаждений ели европейской [Madgwick et al., 1986].

Как известно, крона дерева у хвойных пород является физиологическим центром, который управляет процессом формирования древесины [Полубояринов, 1974]. В связи с этим, удаление любого количества хвои в результате обрезки ветвей, тем самым вмешательство в данный процесс, должно быть обоснованным. Это касается в первую очередь интенсивности удаления ветвей с тем, чтобы уменьшить возможное негативное влияние этого вида ухода на показатели роста деревьев.

Одной из характерных особенностей крон деревьев ели европейской (*Picea abies* (L.) Н. Karst) является значительное количество межмутовочных ветвей, отрицательно влияющих на качество древесины.

Цель работы заключалась в изучении закономерностей распределения межмутовочных ветвей, а также зависимости их размерно-весовых показателей от классов роста деревьев (классов Крфта).

Объектом исследований являлись 29-летние групповые культуры ели в Таицком участковом лесничестве Гатчинского лесничества Ленинградской области, выращиваемые с целью формирования высококачественной древесины методом обрезки ветвей. На момент проведения полевых работ, объект характеризовался следующими таксационными характеристиками: средняя высота H_m – 14,0 м, средний диаметр D_m – 12,2 см, густота N – 2635 шт./га, сумма площадей сечений G – 30,78 м²/га, запас M – 221 м³/га, бонитет – I, тип леса – кисличный.

Материалы и методика исследований. Формирование крон происходит под влиянием большого количества факторов, к ключевым из которых можно отнести древесную породу и условия местопроизрастания. В этом отношении выбор в качестве объекта исследования искусственных древостоев ели позволил свести к минимуму различия в них, так как за счет одинаковой схемы посадки и высокой сохранности культур, расстояния от каждого из рассмотренных деревьев до соседних были примерно одинаковыми [Антонов, Гурьянов, 2020]. Таким образом, можно предполагать, что формирование крон происходило в схожих, с точки зрения конкурентных взаимоотношений, условиях и без существенного повреждающего воздействия, возникающего порой в результате охлестывания в смешанных насаждениях с участием мягколиственных пород. Компактность и расположение опытного объекта, площадь которого составляет 2,0 га, обеспечили сходство микроклиматических и почвенных условий.

Вместе с тем, несмотря на указанное сходство в условиях местопроизрастания, формируемое насаждение содержит деревья, различающиеся по

своим размерным показателям, жизненному состоянию и биосоциологическому положению. Для характеристики последнего еще в XIX веке Густавом Крафтом было введено пять классов роста, из которых к первому классу относятся деревья, занимающие господствующее положение в древостое, к последнему, пятому – находящиеся исключительно под пологом сильно угнетенные и усыхающие [Kraft, 1884].

В рамках предлагаемой работы рассмотрены деревья I и IV классов роста. Такой выбор был сделан для получения максимальной контрастности положения рассматриваемых деревьев в пологе древостоя. На основании сплошного перечета стволов было выбрано и срублено по три модельных дерева на каждый класс роста. Деревья выбирались средними по величине и форме кроны. У всех модельных деревьев до рубки измерялся диаметр кроны в двух направлениях и расстояние до ближайших деревьев. После рубки – протяженность живой кроны, высота, текущий прирост в высоту, текущий диаметр терминального побега, количество мутовок и расстояние между ними. Кроме того, у модельных деревьев определялось количество живых и сухих ветвей в мутовках. У живых ветвей измерялась длина и текущий прирост по длине, диаметр у основания ветви и вес, а у сухих ветвей – диаметр у основания. Также определялось количество живых и сухих межмутовочных ветвей, их диаметр у основания и вес живых ветвей.

В итоге были получены данные о размерных показателях 223 живых ветвей, расположенных в 104 межмутовочных пространствах, для каждого из которых определялись также весовые показатели средних ветвей, а также количество сухих ветвей. В дальнейшем, для установления закономерностей размерно-весовых показателей межмутовочных ветвей, была проведена статистическая обработка полученных данных, включающая в себя корреляционный и регрессионный анализ.

Результаты исследования. Для анализа процессов роста ключевых размерных показателей межмутовочных ветвей – длин и диаметров оснований, была использована логистическая модель:

$$y = \frac{K}{1 + E \cdot e^{-r \cdot n}}, \quad (1)$$

где K – ёмкость среды, максимально возможное в данных условиях значение изучаемого показателя; E – кратность роста; r – относительная скорость роста; n – номер мутовки и, соответственно, возраст, лет.

Полученные для деревьев I и IV классов роста значения параметров логистической кривой приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры логистической модели, описывающей возрастную динамику диаметров оснований и длин межмутовочных ветвей

Parameters of a logistic model describing the age dynamics of base diameters and lengths of branches in interwhorl range

Оцениваемый показатель	Класс роста	Параметры логистической модели (1)			R^2 , %
		K	E	r	
Диаметр основания ветвей, см	I	16,89	2,82	0,13	72,2
	IV	60,68	20,47	0,04	43,6
Длина ветвей, м	I	4,36	22,4	0,15	88,1
	IV	0,93	5,74	0,21	77,1

Графическое представление возрастной динамики эмпирических и теоретических значений размерных показателей межмутовочных ветвей показано на рис. 1, из которого видно, что несмотря на увеличение диаметра основания и длины ветвей с возрастом, их зависимость от возраста проявляется не столь явно, как у ветвей в мутовках [Гурьянов и др., 2020]. Это обусловлено в первую очередь тем, что формирование и развитие межмутовочных ветвей происходят вследствие изменения факторов внешней среды [Галицкий, 2012]. Как следствие, ветви, возникшие в последующие годы, характеризующиеся более благоприятными условиями, могут обогнать в росте своих предшественников.

Если же сравнивать размеры ветвей у деревьев разных классов роста то, как видно из рис. 1, у деревьев I класса их рост идет более активно, чем у деревьев IV класса.

Помимо диаметров оснований и длин ветвей, с помощью ростовых моделей можно описать возрастную динамику их массы. Следует отметить, что при моделировании ростовых процессов ветвей, расположенных как в мутовках, так и между ними, необходимо учитывать ограниченность срока их жизни, обусловленную процессом очистки ствола от сучьев. Так, у рассмотренных модельных деревьев I класса роста наибольший выявленный возраст ветви составил 18 лет, а у деревьев IV класса – 14, причем относятся они к ветвям первого порядка. Срок жизни ветвей высшего порядка ниже в 2–3 раза [Цельникер, 1994]. Это приводит к тому, что на фоне увеличивающихся длины и диаметра основания ветвей, их вес начинает снижаться после 11 лет у деревьев I класса роста и 9 лет – IV класса.

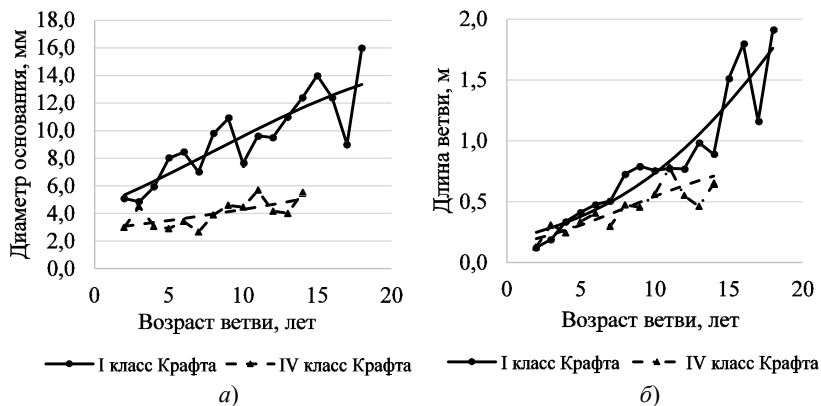


Рис. 1. Возрастная динамика диаметров оснований (а) и длин (б) междуголовных ветвей у деревьев I и IV классов роста

Fig. 1. Age dynamics of base diameters (a) and lengths (b) of branches in interwhorl range in trees of I and IV growth classes

Как следствие, для описания возрастной динамики массы ветвей становится непригодна асимптотическая логистическая ростовая модель, что обусловило выбор с этой целью экспоненциальной функции вида:

$$N = a \cdot e^{\frac{-(n-b)^2}{c}}, \quad (2)$$

где n – номер междуголовного интервала, при движении от вершины дерева к его основанию; a , b и c – параметры модели.

Параметры экспоненциальной модели, описывающей зависимость количества и массы ветвей от номера междуголовного интервала, представлены в табл. 2.

Помимо размеров и массы ветвей, значительный интерес представляет их количество, так как связанное с ним число сучков в стволовой древесине является одним из основных сортообразующих показателей. Следует сказать, что формирование междуголовных ветвей, обусловленное в значительной степени влиянием факторов внешней среды, приводит к высокой изменчивости их количества. Так, например, в смежные годы у одного и того же дерева число междуголовных ветвей составляло 4 и 15 штук. У модельных деревьев одного и того же класса роста число сформировавшихся в один год ветвей различалось в несколько раз.

Таблица 2

Параметры экспоненциальной модели, описывающей зависимость количества и массы ветвей от номера межутовочного интервала

Parameters of an exponential model describing the dependence of the number and mass of branches on the number of the interwhorl interval

Показатель	Класс роста	Параметры экспоненциальной модели (2)			R^2 , %
		a	b	c	
Вес средней ветви, кг	I	0,19	14,40	77,28	72,7
	IV	0,02	8,90	19,15	60,2
Общий вес ветвей в межутовочном интервале, кг	I	2,14	8,89	22,19	84,8
	IV	0,20	7,48	42,44	21,4
Общее количество ветвей, шт.	I	18,61	11,27	220,47	80,8
	IV	18,61	13,47	75,28	84,4
Количество живых ветвей, шт.	I	20,49	6,79	31,86	96,6
	IV	9,73	7,09	38,39	77,3

Уменьшение количества ветвей в нижней части кроны легко объясняется процессом очистки ствола от сучьев, а сравнительно более низкое их число в верхней части кроны позволяет выдвинуть гипотезу о том, что с возрастом у деревьев ели происходит уменьшение интенсивности образования межутовочных ветвей.

Учитывая указанную динамику числа ветвей, для ее описания может быть использована приведенная выше экспоненциальная функция (2). С ее помощью можно показать изменение общей массы межутовочных ветвей в зависимости от номера интервала. Полученные значения параметров, а также показатели точности аппроксимации приведены в табл. 2 и показаны на рис. 2.

Сравнение показателей деревьев I и IV классов роста показало, что если общее количество живых и сухих межутовочных ветвей у них различается не столь сильно, особенно в центральной части кроны, то в долях живых ветвей наблюдаются более существенные расхождения, что позволяет сказать о различиях в сроках их жизни.

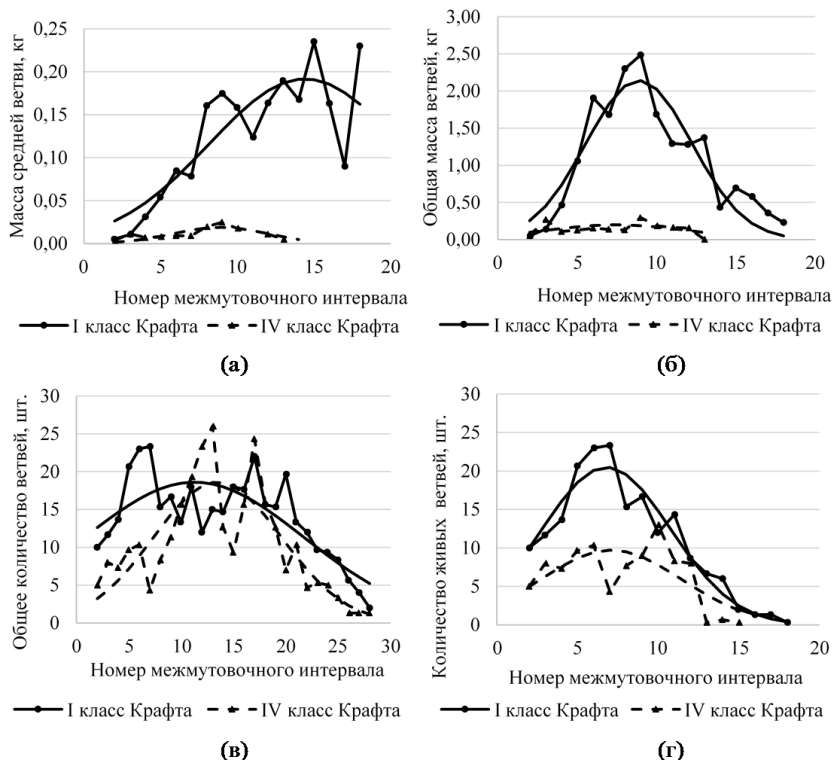


Рис. 2. Зависимость массы средней ветви (а), общей массы ветвей (б), общего количества ветвей (в) и количества живых ветвей (г) деревьев I и IV классов роста от номера межузловочного интервала

Fig. 2. Dependence of the mass of the middle branch (a), the total mass of branches (б), the total number of branches (в) and the number of living branches (г) of trees of growth classes I and IV on the number of the interwhorl interval

Подобная зависимость обусловлена в первую очередь особенностями светового режима – ветви деревьев IV класса роста, характеризующихся сравнительно меньшими размерами, в более раннем возрасте попадают в затененную зону, в которой их хвоя уже не может достаточно эффективно выполнять фотосинтетическую функцию, что приводит к их скорейшему усыханию.

Для анализа сроков жизни ветвей в рамках исследования была использована модель Гомпертца, описывающая зависимость доли живых ветвей в межмутовочном интервале от его номера:

$$y = e^{-e^{a+b \cdot n}}, \quad (3)$$

где a и b – параметры модели; n – номер межмутовочного интервала.

На основании параметров модели Гомпертца, приведенных в табл. 3, представляется возможным определить характеристики стадий изменения доли живых ветвей в межмутовочных интервалах, в частности, начало стадии ее максимального снижения [Алексеев, Лайранд, 1993]:

$$n_1 = \frac{1}{b} \cdot \left(\ln \left(\frac{3 - \sqrt{5}}{2} \right) - a \right), \quad (4)$$

где a и b – параметры модели.

Так, для деревьев I класса роста $n_1 = 12$, а IV – 9, т. е. именно с этих межмутовочных интервалов начинается резкое снижение доли живых ветвей (рис. 3).

Таблица 3

Параметры модели Гомпертца, описывающей динамику долей живых межмутовочных ветвей при движении от вершины к основанию ствола

Parameters of model of Gompertz describing the dynamics of the shares of living branches in interwhorl range when moving from the top to the base of the trunk

Класс роста	Параметры модели Гомпертца (3)		R^2 , %
	a	b	
I	–7,83	0,57	99,7
IV	–8,38	0,72	99,6

В целом же максимальный номер межмутовочного интервала, в котором наблюдались живые ветви у деревьев I класса роста, был равен 18, а у IV – 14. Общее число интервалов с наличием живых или сухих ветвей составило соответственно 28 и 26.

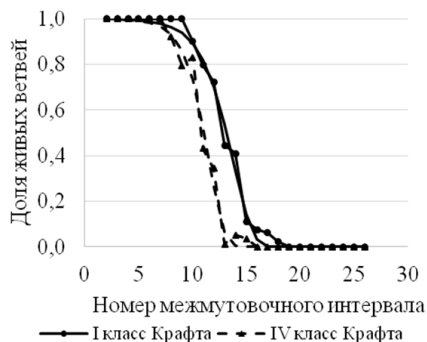


Рис. 3. Зависимость доли живых ветвей от номера межмутовочного интервала

Fig. 3. Dependence of the proportion of live branches on the number of the interwhorl interval

Как отмечалось выше, формирование межмутовочных ветвей происходит под существенным влиянием факторов внешней среды, определяющих также рост деревьев, в том числе и в высоту. Это позволило выдвинуть гипотезу о существовании взаимосвязи между количеством ветвей и величиной межмутовочного интервала, в котором они расположены.

Для проверки данной гипотезы были вычислены коэффициенты парной корреляции, составившие для деревьев I класса роста 0,56 и 0,95 – для IV. Величины r -критерия составили соответственно 0,003 и 0,000. Таким образом, можно считать, что между рассмотренными показателями существует достоверная прямая корреляция, иными словами при большем приросте в высоту формируется и развивается большее количество межмутовочных ветвей.

Помимо хода роста и возрастной динамики количества ветвей, значительный интерес представляет установление взаимосвязей между их размерами, в первую очередь – диаметром основания и длиной. Проведенный в ходе исследования регрессионный анализ показал, что для ее описания может быть использована степенная функция вида:

$$l = a \cdot d_0^b, \quad (5)$$

где l – длина ветви, см; d_0 – диаметр основания ветви, мм; a и b – параметры модели.

Для большей наглядности, по приведенным в таблице 4 параметрам степенной функции (5) был построен график (см. рис. 4), из которого видно, что при равных диаметрах оснований дерева IV класса роста характеризу-

ются большей, чем деревья I класса длиной ветвей. Аналогичная зависимость была выявлена и для ветвей ели, расположенных в мутовках [Гурьянов и др., 2020].

Таблица 4

Параметры степенной функции, описывающей зависимость длин межмутовочных ветвей от диаметров их оснований
Parameters of a power function describing the dependence of the lengths of branches in interwhorl range on the diameters of their bases

Класс роста	Параметры степенной функции (5)		R^2 , %
	a	b	
I	1,93	1,63	76,9
IV	8,97	1,15	68,8

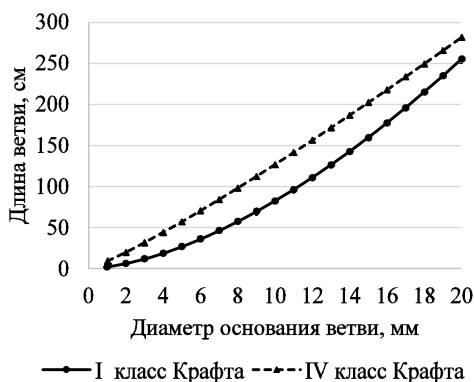


Рис. 4. Зависимость длин межмутовочных ветвей деревьев I и IV классов роста от диаметров их оснований

Fig. 4. The dependence of the lengths of the branches in interwhorl range of trees of growth classes I and IV on the diameters of their bases

В отличие от сильной прямой взаимосвязи диаметров оснований и длин межмутовочных ветвей деревьев ели европейской, зависимость от них массы ветвей является менее выраженной. Это обусловлено уже отмечавшимся различием в продолжительности жизни ветвей различных порядков, из-за которого, несмотря на то, что у ветвей первого порядка продолжается рост по диаметрам оснований и длинам, отмирание ветвей второго и более порядков со временем приводит к снижению массы вследствие опадения хвои и части ветвей.

Таблица 5

Параметры экспоненциальной модели, описывающей зависимость массы межмутовочных ветвей от их диаметров оснований и длин

Parameters of an exponential model describing the dependence of the mass of branches in interwhorl range on their base diameters and lengths

Независимая переменная	Класс роста	Параметры экспоненциальной модели (1)			R^2 , %
		a	b	c	
Диаметр основания, мм	I	1,89	10,74	23,68	36,4
	IV	0,35	6,75	9,58	52,7
Длина, см	I	1,86	87,91	3128,61	35,0
	IV	0,33	82,55	1669,46	44,4

Из рассмотренных в рамках исследования моделей с наибольшей точностью зависимость массы межмутовочных ветвей от их длин и диаметров оснований также описывается экспоненциальной моделью (2), полученные в ходе регрессионного анализа параметры которой и графическое представление приведены в табл. 5 и на рис. 5.

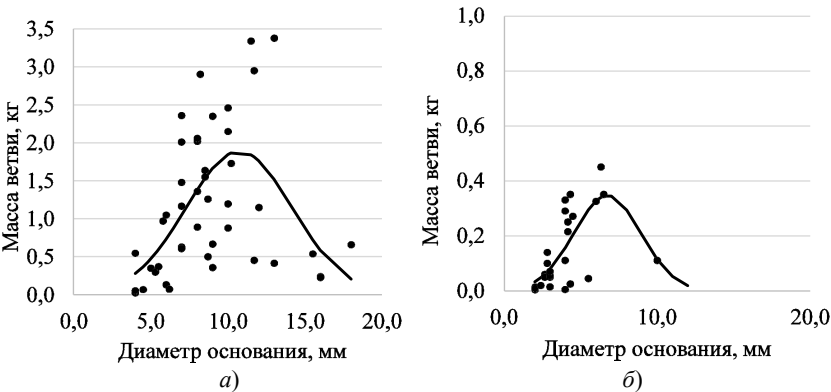


Рис. 5. Зависимость массы межмутовочных ветвей деревьев ели первого (а) и четвертого (б) классов роста от диаметров оснований

Fig. 5. Dependence of the mass of the branches in interwhorl range of spruce trees of the first (a) and fourth (b) growth classes on the diameters of the bases

Выводы. Проведенный анализ закономерностей размерно-весовых показателей межмутовочных ветвей ели европейской показал, что у деревьев разных классов роста наблюдается существенное различие между ними. Так, деревья IV класса роста характеризуются сравнительно меньшими размерами, массой, а также продолжительностью жизни ветвей. Полученные данные могут быть использованы при разработке методики выращивания деревьев ели, направленной на минимизацию количества сучьев в стволовой древесине, оценке фитомассы деревьев и ряде других научно-практических задач.

Сведения о финансировании исследования. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Алексеев А.С., Лайранд Н.И. К методике дендрэкологического анализа // Ботанический журнал. 1993. Т. 78, № 10. С. 103–107.

Антонов О.И., Гурьянов М.О. Строение кроны ели европейской в культурах в связи с выращиванием высококачественной древесины. Монография (научное издание) «Рациональное природопользование и биоразнообразие экосистем». Пенза: РИО ПГАУ, 2020. С. 43–63.

Вороницын К.И., Гугелев С.М. Машинная обрезка сучьев на лесосеке. М.: Лесн. пром-ть, 1989. 168 с.

Галицкий В.В. Модели динамики дерева и сообщества деревьев: развитие от двухмерных к трехмерным моделям // Матем. биология и биоинформ. 2012. Т. 7, вып. 1. С. 54–80.

Гурьянов М.О., Антонов О.И., Джикович Ю.В. Зависимость размерно-весовых показателей ветвей деревьев ели европейской от их фитоценоотического состояния // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 233. С. 6–18.

Казмиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.

Карчаускас С.А. Индивидуальный уход в насаждениях лесов первой группы : автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Минск. 1958. С. 16.

Кузнецов А.Н., Величко Я.М., Старостин В.А. Особенности формирования крон сосны и ели // Лесн. хоз-во. 1986. № 12. С. 23–26.

Молчанов А.А. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 488 с.

Полубояринов О.И. Влияние лесохозяйственных мероприятий на качество древесины. Л.: ЛТА, 1974. 96 с.

Полякова Н.Ф. Соотношение между массой листвы, приростом древесины и транспирацией // ДАН СССР. 1954. Т. 96. № 6. С. 1261–1263.

Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 570 с.

Усольцев В.А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 541 с.

Феклистов П.А., Токавина О.Н. Особенности ассимиляционного аппарата, водного режима и роста деревьев сосны в осушенных сосняках : монография. Архангельск : САФУ, 2014. 179 с.

Феклистов П.А., Хабарова Е.П. Ассимиляционный аппарат деревьев сосны на осушенных и избыточно увлажненных почвах : монография. Архангельск : САФУ, 2017. 141 с.

Цельникер Ю.Л. Структура кроны ели // Лесоведение. 1994. № 4. С. 35–44.

Яблоков А.С. Культура лиственницы и уход за насаждениями. М.: Гослестехиздат, 1934а. 128 с.

Arvidson A. Stamkvistning av *Pinus contorta* – teknik // Sver. skogsvardsforb. fidskr. 1985. No. 6. P. 35–36.

Ford E.D. High productivity in a polestage *Sitka spruce* stand and its relation to canopy structure // Forestry. 1982. Vol. 55, no. 1. P. 1–17.

Fujimori T. Primary productivity of a young *Tsuga heterophylla* stand and some speculations about biomass of forest communities on the Oregon coast. USDA Forest Service. Research paper PNW – 123. 1971. 11 p.

Kallio P. The essence of biology in the North // Nordia. 1984. Vol. 18 (2). P. 53–65.

Kraft G. Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Hannover: Klindworth's Verlag, 1884. 147 p.

Kramer H. Relation between crown parameters and volume increment of *Picea abies* stands damaged by environmental pollution // Scand. J. Forest Res. 1986. Vol. 1, no. 2. P. 251–263.

Madgwick H.A.I., Tamm C.O. Crown development in young *Picea abies* stands // Scand. J. Forest Res. 1986. 1. No. 2. P. 195–204.

Pollarschutz J. Lebensraum für kraftige baume. Burchforsten nutzt dem Menschen und dem Wald // Pap. Osterr. 1994. No. 4. P. 15–19.

Rutter A.J. Studies in the growth of young plant of *Pinus sylvestris* L. I. The annual cycle of assimilation and growth // Annals of Botany. 1957. Vol. 21. P. 399–425.

Satoo T., Madgwick H.A.I. Forest Biomass. Martinus Nijhoff / Dr. W. Junk Publishers, 1982. 152 p. (Forestry Science, No. 6).

References

Alekseev A.S., Lairand N.I. On the methodology of dendroecological analysis. *Botanical Magazine*, 1993, vol. 78, no. 10, pp. 103–107. (In Russ.)

Antonov O.I., Guryanov M.O. The structure of the crown of the European spruce in cultures in connection with the cultivation of high-quality wood. Monograph (scientific publication) «Rational nature management and biodiversity of ecosystems». Penza: RIO PGAU. 2020, pp. 43–63. (In Russ.)

Arvidson A. Stamkvistning av *Pinus contorta* – teknik. Sver. skogsvårdsförb. fidskr., 1985, no. 6, pp. 35–36.

Feklistov P.A., Khabarova E.P. Assimilation apparatus of pine trees on drained and excessively moistened soils : monograph. Arkhangelsk: SAFU, 2017. 141 p. (In Russ.)

Feklistov P.A., Tyukavina O.N. Features of assimilation apparatus, water regime and growth of pine trees in drained pine forests: monograph. Arkhangelsk: SAFU, 2014. 179 p. (In Russ.)

Ford E.D. High productivity in a polestage *Sitka spruce* stand and its relation to canopy structure. *Forestry*, 1982, vol. 55, no. 1, pp. 1–17.

Fujimori T. Primary productivity of a young *Tsuga heterophylla* stand and some speculations about biomass of forest communities on the Oregon coast. USDA Forest Service. Research paper PNW – 123. 1971. 11 p.

Galitsky V.V. Models of tree dynamics and tree communities: development from two-dimensional to three-dimensional models. *Matem. biology and bioinform*, 2012, vol. 7, iss. 1, pp. 54–80. (In Russ.)

Guryanov M.O., Antonov O.I., Djikovich Yu.V. The dependence of the size and weight indicators of branches of European spruce trees on their phytocenotic state. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2020, no. 233, pp. 6–18. (In Russ.)

Kallio P. The essence of biology in the North. *Nordia*, 1984, vol. 18 (2), pp. 53–65.

Karchauskas S.A. Individual care in forest plantations of the first group: author. diss. ... cand. sciences. Minsk, 1958. 16 p. (In Russ.)

Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zyabchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M. Metabolism and energy in pine forests of the European North. L.: Nauka, 1977. 304 p. (In Russ.)

Kraft G. Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Hannover: Klindworth's Verlag, 1884. 147 p.

Kramer H. Relation between crown parameters and volume increment of *Picea abies* stands damaged by environmental pollution. *Scand. J. Forest Res.*, 1986, vol. 1, no. 2, pp. 251–263.

Kuznetsov A.N., Velichko Ya.M., Starostin V.A. Features of the formation of pine and spruce crowns. *Forestry*, 1986, no. 12, pp. 23–26. (In Russ.)

Madgwick H.A.I., Tamm C.O. Crown development in young *Picea abies* stands. *Scand. J. Forest Res.*, 1986, 1, no. 2, pp. 195–204.

Molchanov A.A. Hydrological role of pine forests on sandy soils. M.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1952. 488 p. (In Russ.)

Pollarschutz J. Lebensraum für kraftige baume. Burchforsten nutzt dem Menschen und dem Wald. *Pap. Osterr.*, 1994, no. 4, pp. 15–19.

Poluboyarinov O.I. Impact of forestry activities on wood quality. L.: LTA, 1974. 96 p. (In Russ.)

Polyakova N.F. The relationship between the mass of foliage, wood growth and transpiration. *DAN SSSR*, 1954, vol. 96, no. 6, pp. 1261–1263. (In Russ.)

Rutter A.J. Studies in the growth of young plant of *Pinus sylvestris* L. I. The annual cycle of assimilation and growth. *Annals of Botany*, 1957, vol. 21, pp. 399–425.

Satoo T., Madgwick H.A.I. Forest Biomass. Martinus Nijhoff / Dr. W. Junk Publishers, 1982. 152 p. (Forestry Science, No. 6).

Usoltsev V.A. Formation of data banks on the phytomass of forests. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1998. 541 p. (In Russ.)

Usoltsev V.A. Phytomass and primary production of Eurasian forests. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2010. 570 p. (In Russ.)

Voronitsyn K.I., Gugelev S.M. Machine pruning of branches in the cutting area. M.: Forest industry, 1989. 168 p. (In Russ.)

Yablokov A.S. Larch culture and plant care. M.: Goslestekhzizdat, 1934. 128 p. (In Russ.)

Zelniker Yu.L. Structure of the spruce crown. *Forest science*, 1994, no. 4, pp. 35–44. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 02.10.2023

Гурьянов М.О., Антонов О.И. Изменчивость размерно-весовых показателей межмутовочных ветвей деревьев ели европейской различных классов роста // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 250. С. 6–22. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.6-22

Интенсивное лесовыращивание подразумевает проведение регулярных рубок ухода, а также выполнение многоприемной обрезки ветвей для получения высококачественной бессучковой древесины. При этом производительность работ, связанная с ее формированием, во многом зависит от количественных параметров кроны: числа живых и сухих ветвей в мутовке и межмутовочном пространстве, диаметров ветвей, количества мутовок и др. По этой причине, изучение архитектоники кроны является важным элементом лесоводственных и экологических исследований. Статистический анализ, проведенный на основании данных о размерных показателях 223 живых ветвей, расположенных в 104 межмутовочных пространствах, их доле от общего количества,

включающего сухие ветви, а также о весовых показателях средних по межмутовочным пространствам ветвей деревьев ели европейской, позволил выявить наличие существенных различий в длинах, диаметрах оснований и массе ветвей, а также продолжительности их жизни у деревьев разных классов роста. Так, деревья четвертого класса роста характеризуются сравнительно меньшими размерами и массой, а также продолжительностью жизни ветвей. Методом регрессионного анализа было установлено, что для описания возрастной динамики размерных показателей межмутовочных ветвей может быть использована логистическая ростовая кривая. Динамика весовых показателей при движении от вершины кроны к основанию дерева с высокой точностью описывается экспоненциальной моделью, а доли живых ветвей – моделью Гомпертца. Выявленные закономерности в дальнейшем могут быть использованы при разработке методики выращивания деревьев ели, в частности, определении интенсивности обрезки ветвей, направленной на минимизацию количества сучьев в стволовой древесине, оценке фитомассы деревьев и ряде других научно-практических задач.

Ключевые слова: ель европейская, размерно-весовые параметры, межмутовочные ветви.

Guryanov M.O., Antonov O.I. Variability of size-weight parameters of interwhorl branches of European spruce trees of different growth classes. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2024, iss. 250, pp. 6–22 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.6-22

Intensive reforestation involves carrying out regular thinning, as well as performing multi-stage pruning for getting high-quality knot-free timber. At the same time, the productivity of work associated with its formation largely depends on the quantitative parameters of the crown: the number of living and dry branches in the whorl and interwhorl range, the diameters of the branches, the number of whorls, etc. Therefore, the study of crown architectonics is an important element of silvicultural and environmental research, since the economic impact largely determines the process of species competition in the forest ecosystem. Statistical analysis carried out on the basis of data on the size indicators of 223 living branches located in 104 interwhorl ranges, their share of the total number, including dry branches, as well as the weight indicators of the average by interwhorl spaces of Norway spruce tree branches, revealed the presence of significant differences in lengths, base diameters and weight of branches, as well as their life expectancy in trees of different growth classes. Thus, trees of the fourth growth class are characterized by comparatively smaller size and weight, as well as the lifespan of the branches. Using regression analysis, it was found that a logistic growth curve can be used to describe the age-related dynamics of the size indicators of interwhorl branches. The dynamics of weight indicators by moving from the top of the crown to the base of the tree is described with high accuracy by an

exponential model, and the proportion of living branches – by the model of Gompertz. The identified patterns can be used in developing of methods for growing spruce trees, in particular, determining the intensity of pruning of branches aimed at minimizing their number in the stem wood, assessing the phytomass of trees and a number of other scientific and practical tasks.

Keywords: European spruce, sized and weight parameters, interwhorl branches.

ГУРЬЯНОВ Михаил Олегович – доцент кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-code: 2801-5477.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: m-bear2004@mail.ru

GURYANOV Mikhail O. – PhD (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forest Taxation, Forest Inventory and Geographic Information Systems St.Petersburg State Technical University. SPIN-code: 2801-5477.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: m-bear2004@mail.ru

АНТОНОВ Олег Иванович – доцент, профессор кафедры общей экологии, анатомии и физиологии растений Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор сельскохозяйственных наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: woodfm@mail.ru

ANTONOV Oleg I. – DSc (Agriculture), Professor of the Department of General Ecology, Anatomy and Physiology of the Plants St.Petersburg State Technical University.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: woodfm@mail.ru